

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

## Interacción genotipo ambiente de cuatro variedades de tomate en la provincia Granma

### Genotype environment interaction of four tomato varieties in Granma province

Yarisbel Gómez Masjuan, Tony Boicet Fabre, Norge Tornés Olivera, y Yanitza Meriño Hernández

Universidad de Granma. Carretera a Manzanillo km 17, Peralejo - Apartado 21 – Bayamo, Granma, Cuba, CP 85149

*E-mail:* [ygomez@udg.co.cu](mailto:ygomez@udg.co.cu); [ntorneso@udg.co.cu](mailto:ntorneso@udg.co.cu)

---

#### RESUMEN

La investigación se realizó en cuatro localidades de la provincia Granma, Cuba. El objetivo fue evaluar la magnitud de la interacción genotipo-ambiente y adaptación de las variedades de tomate en diferentes localidades afectadas por la sequía a través de parámetros de estabilidad del rendimiento. Se realizó un análisis combinado de varianza para los efectos principales de genotipo y el ambiente, además de un análisis de componentes principales para los efectos no aditivos de la interacción. Este análisis denominado Modelo de Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativo, está constituido por parámetros aditivos y multiplicativos. Se analizó mediante el programa MATMODEL. La interacción genotipo-ambiente expresó la capacidad que tienen las variedades de adaptarse a un ambiente determinado. Las variedades Amalia y Vyta presentaron la mejor adaptabilidad y los mayores rendimientos (30,26 y 24,84 t ha<sup>-1</sup> respectivamente).

**Palabras clave:** ambiente, genotipo, *Solanum lycopersicon*, sequía

#### ABSTRACT

The investigation was carried out in four localities of Granma province, Cuba. The objective was to evaluate the magnitude of the genotype-environment interactions and adaptation of tomato varieties in different locations affected by drought through performance stability parameters. A combined analysis of variance for the main effects of genotype and environment was performed, and a principal component analysis for non-additive effects of the interaction. This analysis called the Principal Additive Effects and Multiplicative Interaction Model is constituted by additive and multiplicative parameters. It was analyzed by MATMODEL program. Genotype-environment interaction expressed the ability varieties to fit a particular environment. The varieties Amalia and Vyta presented the highest adaptability and the highest yields (30.26 and 24.84 t ha<sup>-1</sup> respectively).

**Keywords:** environment, genotype, *Solanum lycopersicon*, drought

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicon* Mill) es la hortaliza de valor económico más difundida en todo el mundo, por lo que su demanda aumenta continuamente y con ella su producción, cultivo y comercio. Además, constituye una alternativa productiva de alto potencial para los agricultores por su versatilidad al ser utilizada en la industria de bebidas y alimentos, tiene gran aceptación para consumo en fresco en el mercado y excelentes perspectivas en la exportación (Portilla, 2013).

El cultivo requiere un suministro de agua adecuado durante todo el ciclo vegetativo pues cualquier déficit en una fase crítica de desarrollo o una excesiva humedad, afecta tanto la cantidad como la calidad de los frutos. Los resultados obtenidos en varias investigaciones indican que el tomate es más exigente al momento de aplicación del riego que a la norma de aplicación (Sotolongo, 1978). La sequía conjuntamente con la salinidad de los suelos constituye un grave problema capaz de perjudicar el rendimiento de los cultivos y la sostenibilidad de la agricultura; y según Frahm *et al.* (2004) cerca del 10 % de la superficie del planeta está afectada por estos factores por lo que grandes extensiones de tierras son abandonadas constantemente por causa de los mismos.

Las estadísticas en Cuba reportan que la sequía ha perjudicado cerca del 76 % de las áreas de cultivo. Entre las muchas acciones preventivas para enfrentarla, recogidas en el Programa de Acción Nacional, puede mencionarse la introducción de variedades de cultivo resistentes al déficit hídrico, las cuales pueden disminuir sensiblemente sus efectos al retener el agua de los suelos y limitar la transpiración (Ponvert-Delisle, 2016). Esto implica conocer dicha tolerancia de forma precisa y consistente, con el propósito de seleccionar la de mejor respuesta frente al estrés y establecer los atributos agronómicos y fisiológicos que contribuyan en la tolerancia a la sequía de las plantas cultivadas.

La variación del rendimiento se atribuye al potencial productivo del ambiente y al potencial genético en interacción con el primero (Hortelano *et al.*, 2013). La interacción genotipo - ambiente se refiere al comportamiento diferencial de genotipos a través de condiciones ambientales variables, siendo muy importante en el mejoramiento genético de los cultivos,

debido a que está presente durante el proceso de selección y recomendación. La formación de nuevos genotipos requiere la evaluación de los materiales genéticos en diferentes ambientes y la medición de la interacción genotipo-ambiente, la cual da una idea sobre la estabilidad fenotípica de los genotipos ante las fluctuaciones ambientales (Sánchez *et al.*, 2015).

La investigación tuvo como objetivo evaluar la magnitud de la interacción genotipo-ambiente (IGA) y la adaptación de las variedades de tomate en diferentes localidades afectadas por la sequía a través de parámetros de estabilidad del rendimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en condiciones de campo, en cuatro localidades de la provincia Granma. Se utilizaron las variedades cubanas Mara, Amalia, Mariela y Vyta. Los tratamientos consistieron en la aplicación a las plantas de los riegos correspondientes al abastecimiento hídrico según lo orientado por el MINAGRI (1990). Además, como variante control y de bajo suministro de agua (sequía), a un tratamiento se le realizó tres riegos de establecimientos y posteriormente fueron suspendidos los riegos durante todo el ciclo vegetativo, siguiendo lo orientado por Dell'Amico (1992). La técnica de riego usada fue por aspersión. El diseño era parcelas divididas, repetidas en bloques. Las parcelas mayores correspondieron a los tratamientos de riego (22,40 x 4 m) y las subparcelas a las variedades (5,60 x 4 m). Cada tratamiento tuvo cuatro réplicas.

### Caracterización edafoclimáticas de las localidades experimentales

Los experimentos se desarrollaron en localidades que tienen diferentes condiciones edafoclimáticas y altitudes (Tabla 1).

### Propiedades físico-químicas del suelo

Los datos sobre la caracterización de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos donde se llevaron a cabo los experimentos, fueron analizados en cada área experimental. Los tipos de suelos, en las localidades objeto

**Tabla 1.** Ubicación y altura de las localidades respecto al nivel del mar

Localidades	Longitud	Latitud	Altitud
Las Cielas	76°31'04"E	20°15'10"N	250 msnm
Mancabo	76°34'05"E	20°18'57"N	100 msnm
Santa Isabel	76°40'41"E	20°21'43"N	51 msnm
Cubeñas	77°15'53"E	20°05'54"N	20 msnm

de estudio, se corresponden con la Clasificación de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015). Los parámetros determinados por el laboratorio fueron: PH (KCL) y (H2O); materia orgánica (MO) y conductividad eléctrica (CE).

**Comportamiento de variables climáticas**

Para el estudio de la dinámica de los elementos climáticos durante el período experimental de las áreas, se registraron decenalmente los siguientes parámetros: temperatura media, evaporación, horas luz, velocidad del viento y porcentajes medios de humedad relativa. Los datos fueron tomados desde la Estación Agrometeorológica de Manzanillo, ubicada en el municipio del mismo nombre, y la Estación Agrometeorológica de Veguitas, ubicada en el municipio de Yara. Las precipitaciones ocurridas durante ese período se registraron con pluviómetros estándar ubicados en las áreas de ensayos.

**Análisis estadísticos**

▪ Interacción genotipo-ambiente: se realizó un análisis combinado de varianza (ANOVA) para los efectos principales de genotipo (G) y ambiente (A), además de un análisis de componentes principales para los efectos no aditivos de la interacción G X A (ACPI). Este análisis denominado como Modelo de Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativo (AMMI), está constituido por parámetros aditivos y multiplicativos. Se analizó a través del programa MATMODEL V 3.0 (Gauch, 2007) definido por el siguiente modelo:

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_{ag} + \beta_e + \sum_n \lambda_n \xi_{gn} \hat{v}_{en} + \rho_{ge} + \sigma_{ger} \quad (1)$$

donde:

- Y<sub>ger</sub>: rendimiento observado del genotipo g en el ambiente e para la repetición r

Parámetros aditivos:

- μ: media general

- α<sub>ag</sub>: desviación con respecto a la media general del genotipo g
- β<sub>e</sub>: desviación con respecto a la media general del ambiente e

Parámetros multiplicativos:

- λ<sub>n</sub>: valor singular para el eje n del ACPI
- ξ<sub>gn</sub>: vector propio unitario del genotipo para el eje n
- v<sub>en</sub>: vector propio unitario del ambiente para el eje n
- Estabilidad del rendimiento: la estabilidad de rendimiento de cada genotipo a través de los medioambientes se calculó mediante un análisis de regresión lineal sobre las medias ambientales según lo propuesto por Eberhart y Russell (1966), definidos por el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + I_j + \sigma_{ij} \quad (2)$$

donde:

- Y<sub>ij</sub>: promedio del genotipo i en el ambiente j
- μ<sub>i</sub>: promedio del genotipo i en todos los ambientes
- β<sub>i</sub>: coeficiente de regresión que mide la respuesta del genotipo i al variar los ambientes
- I<sub>j</sub>: índice ambiental del ambiente j-ésimo que se calcula como la desviación del promedio de los genotipos en un ambiente dado a partir del promedio general
- σ<sub>ij</sub>: desviación de la regresión

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los suelos donde se desarrollaron los experimentos se encuentran en el rango de ácidos y neutros, libre de sales, ya que los valores de conductividad eléctrica son bajos, y poseen bajo contenido de materia orgánica (Tabla 2).

### Dinámica de los elementos del clima

Al analizar los elementos del clima se aprecia que no todos tuvieron la misma tendencia durante el período en las diferentes localidades (Figura 1). La temperatura media muestra un comportamiento variable que propicia el desarrollo normal del cultivo al estar en rangos de 23,2 a 26,7 °C, igualmente ocurre con la humedad relativa que sus valores oscilaron entre 68 y 93 %. Los otros elementos evaluados fueron la velocidad del viento, las horas luz y la evaporación, cuyos valores oscilaron desde 1,41 - 4,92 m s<sup>-1</sup>, 2,78 - 4,92 horas y 25,43 - 88,15 mm respectivamente. Las precipitaciones en el período fueron diferentes para cada localidad, aunque fluctuaron entre 13,19 y 49,57 mm, cantidades muy por debajo de lo exigido por el cultivo para su normal desarrollo.

Al estar la temperatura media de las decenas por encima de la lluvia caída en cada decena (el doble en magnitud) se demuestra que las decenas se comportaron como secas; por lo que las variedades padecieron sequía evidentemente (Gausson y Bagnouls, 1953). Esto permitió poder evaluar los efectos de la sequía sobre de las variedades y, por tanto, conocer el grado de tolerancia. De la misma forma, es importante mencionar que las precipitaciones no ocurrieron durante el período donde las plantas necesitan

realmente del agua para poder tener un desarrollo normal.

### Interacción genotipo-ambiente (IGA) y estabilidad del rendimiento en dos condiciones de humedad

Según Pérez *et al.* (2016) la interacción genotipo x ambiente se refiere al comportamiento diferencial de los genotipos a través de las condiciones ambientales variables. Esa interacción es muy importante en el mejoramiento genético de los cultivos debido a que se encuentra presente durante el proceso de selección y recomendación de genotipos.

En la presente investigación, la descomposición de la suma de cuadrados (Tabla 3) muestra un efecto ambiental elevado, tanto para el tratamiento de riego como para el tratamiento sin riego, respecto a los efectos genotípicos y la interacción para ambos tratamientos, respectivamente. Este modelo retuvo el 99,86 % y 99,66 % de la suma de cuadrados total, utilizando 23 grados de libertad (3 el genotipo, 3 el ambiente, 9 la interacción, 5 el ACPI 1 y 3 el ACPI 2) en ambos tratamientos, respectivamente.

Las dos primeras componentes obtenidas a partir del efecto de la IGA fueron significativas, en ambos tratamientos al 0,1 % de probabilidad del error. El primer eje del ACPI 1 explicó el 74,54

**Tabla 2.** Propiedades físico-químicas de los suelos

Localidades	*Clasificación	Prof. (cm)	MO (%)	Características		CE (ds m <sup>-1</sup> )
				pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	
Las Celias	Pardo Sialítico	0-10	2,35	6,50	5,00	0,78
		11-20	2,26	6,60	6,00	0,76
		21-30	1,70	6,81	6,35	0,76
Santa Isabel	Fluvisol	0-10	2,40	6,00	5,34	0,71
		11-20	2,22	6,40	5,36	0,82
		21-30	1,66	6,60	5,75	0,90
Mancabo	Fersialítico	0-10	2,14	6,50	6,39	0,17
		11-20	1,96	6,65	6,55	0,71
		21-30	1,25	6,85	6,75	0,73
Cubañas	Vertisol	0-10	2,30	6,80	6,60	0,17
		11-20	1,70	6,85	5,80	0,27
		21-30	1,50	6,85	5,80	0,35

\*Clasificación del suelo según Hernández *et al.* (2015), Prof. – Profundidad

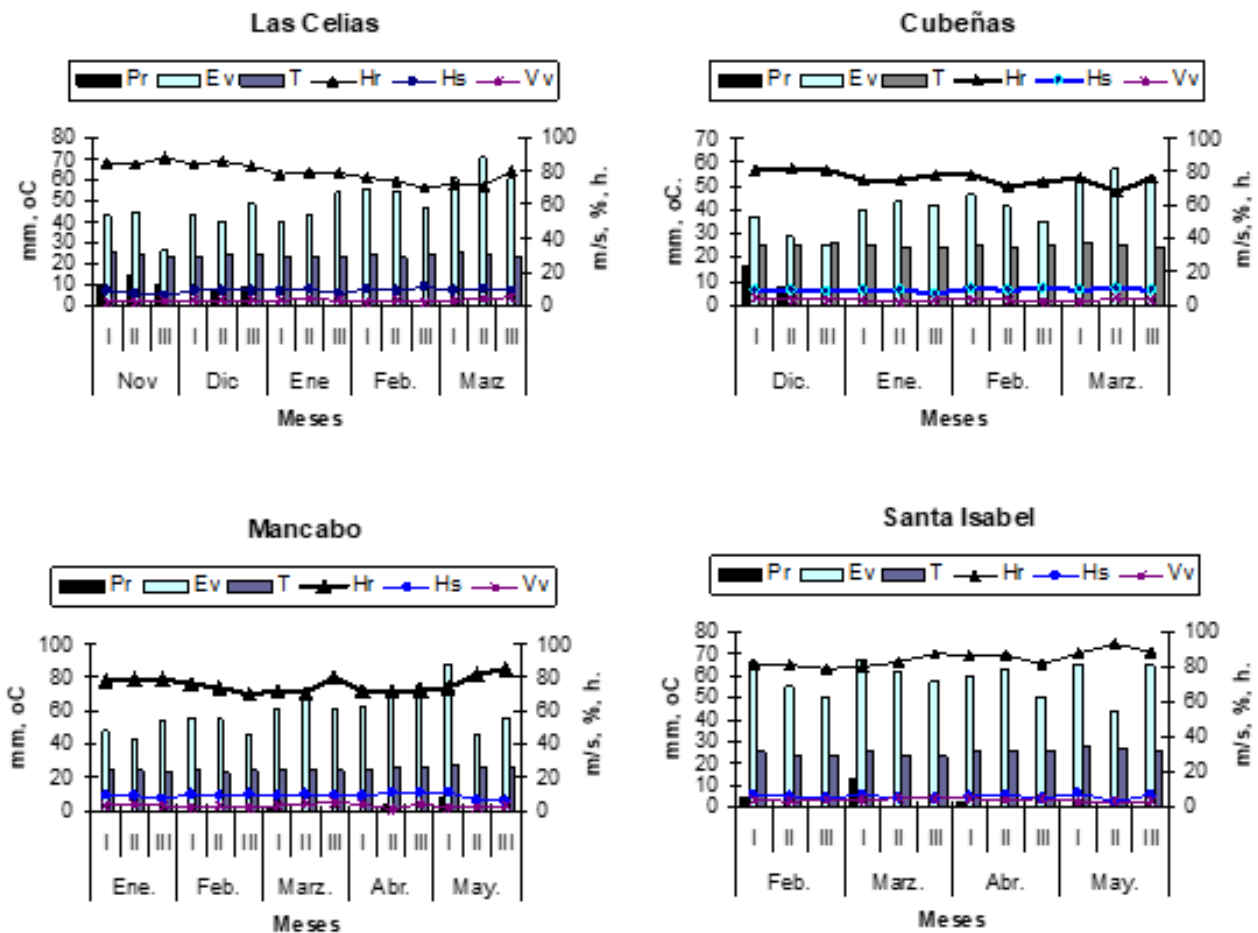


Figura 1. Dinámica de variables climáticas en los experimentos

% y ACPI 2 el 17,8 % de la IGA en el tratamiento con riego; mientras que en el tratamiento sin riego el ACPI 1 explicó el 59,98 % y el ACPI 2 el 26,84 %, lo que es suficiente para considerar una interpretación completamente confiable del comportamiento de la IGA (Crossa, 1990).

Resultados similares a los obtenidos fueron logrados por Castañón *et al.* (2000) cuando utilizaron los modelos AMMI y Clúster en la selección de los mejores híbridos experimentales de maíz. Estos autores identificaron como significativos al ACPI 1 y ACPI 2 pues solamente el ACPI 1 absorbió el 56 % de la suma de cuadrados de la IGA, por lo que ese componente es suficiente para representar la interacción de los híbridos con el ambiente.

Para completar el estudio de la IGA realizado se utilizó el gráfico “biplot”. Este gráfico (Figura 2) acumuló un 93,35 % y un 88,20 % de la suma de cuadrados de los tratamientos, respectivamente. El “biplot” muestra un rendimiento medio en función de las coordenadas del primer eje del ACPI 1. Los genotipos y ambientes con coordenadas

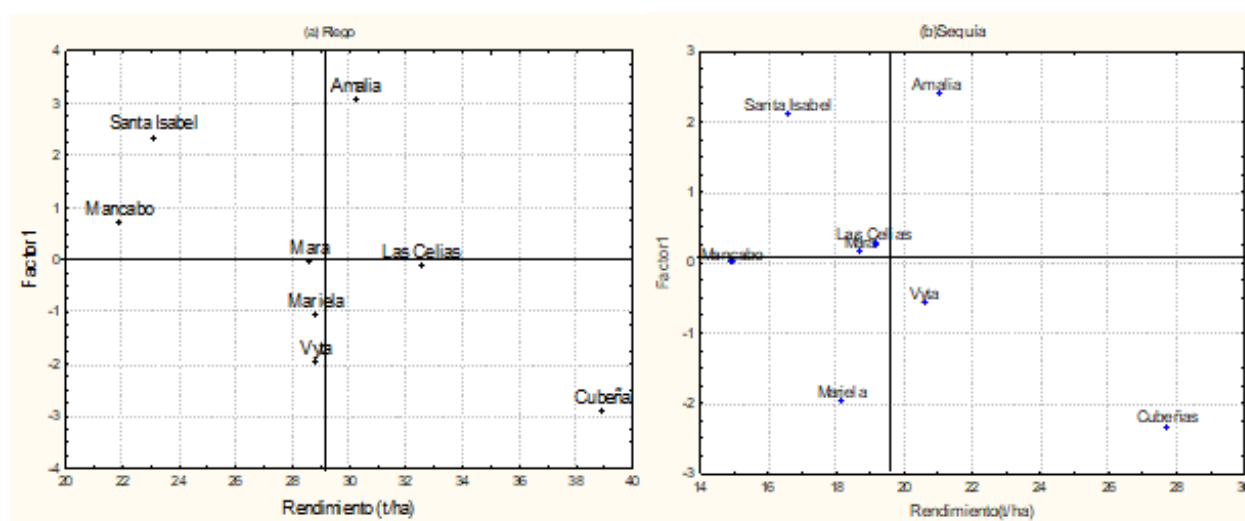
elevadas sobre el ACPI contribuyeron en mayor medida a la IGA mientras que los próximos a cero, prácticamente no lo hicieron. Los genotipos de mayor contribución a la IGA fueron, en el tratamiento con riego, las variedades Amalia y Vyta con rendimientos superiores e inferiores respectivamente a la media general, y las de menor contribución, Mara y Mariela con rendimientos ligeramente inferiores. En el caso de los ambientes, los de mayor contribución fueron Santa Isabel y Cubeñas, donde los rendimientos fueron superiores e inferiores a la media general. Para el tratamiento sin riego, los genotipos de mayor contribución fueron Amalia y Mariela y los de menor contribución Mara y Vyta; mientras que los ambientes de mayor contribución fueron Cubeñas y Santa Isabel.

El gráfico bidimensional ACPI 1 versus ACPI2 acumuló el 92,44 % (con riego) y permitió clasificar los genotipos y ambientes en función de esta (Figura 3). En el tratamiento donde se aplicaron los riegos, la variedad Amalia interactúa y se asocia positivamente con el ambiente de

**Tabla 3.** Análisis AMMI para el rendimiento (t ha<sup>-1</sup>) del cultivo de tomate

FV	RIEGO			SEQUÍA	
	GL	SC	CM	SC	CM
Total	63	4305,41	68,33***	2346,35	37,24***
TRT	15	4296,92	286,46***	2333,87	155,69***
GEN	3	27,49	9,16***	93,68	31,22***
Amb	3	31,46	1048,67***	1533,46	517,82***
G x A	9	1123,39	124,82***	686,72	76,31***
ACPI 1	5	837,52	167,50***	411,41	82,28***
ACPI2	3	201,00	67,00***	184,32	61,44***
Residual	1	84,87	84,87***	90,98	90,98***
Error	48	8,48	0,17	12,48	0,26

FV: fuentes de variación, GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, CM: cuadrado medio, \*\*\*:  $p \leq 0,1$ , TRT: tratamientos, GEN: genotipo, Amb: ambiente, G x A: interacción

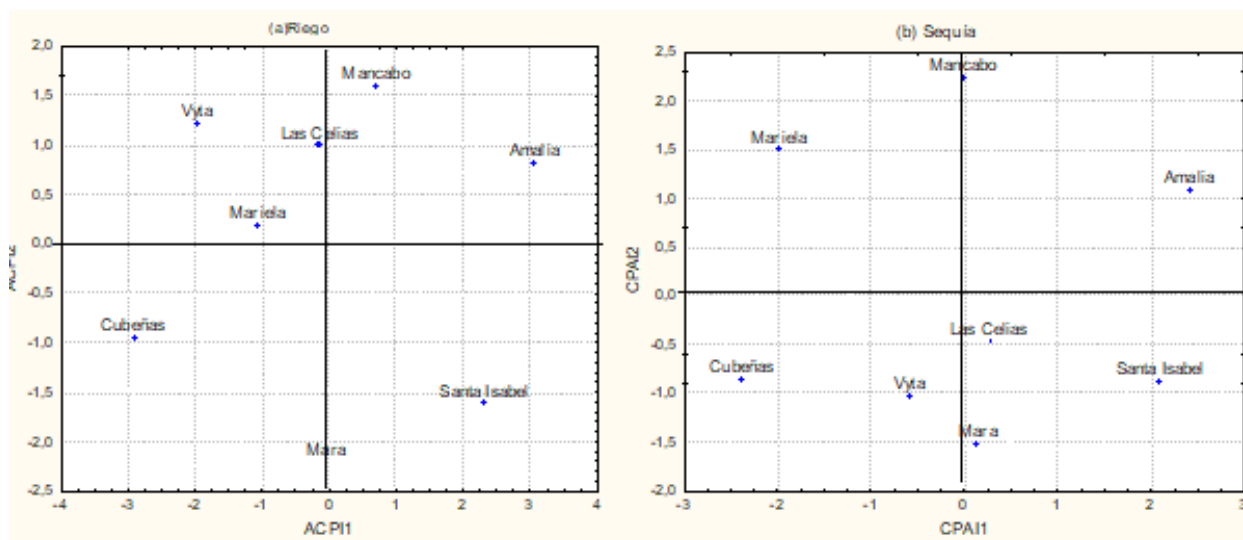
**Figura 2.** Biplot de las coordenadas del primer eje de componentes principales (ACPI 1) en función del rendimiento

Mancabo, las variedades Vyta y Mariela lo hacen con Las Celiás y la variedad Mara con Cubeñas. Referente al rendimiento, las variedades Vyta y Amalia fueron las más productivas en Las Celiás, Amalia y Mara en Santa Isabel, Amalia y Mariela en Mancabo, pero en Cubeñas las variedades Vyta y Mariela resaltaron por encima de las otras dos. Además, la variedad más estable fue Mariela, ya que según Yan *et al.*, (2000) los genotipos más cercanos al origen son los más estables y al alejarse de este su respuesta es más variable.

Al analizar la variedad Amalia en la sequía se aprecia que no muestra un patrón de asociación e interacción con ninguna de las localidades evaluadas; sin embargo, Mariela se asocia

positivamente con el ambiente de Mancabo, Mara lo hace con Las Celiás, y Vyta se asocia e interactúa positivamente con Cubeñas y Santa Isabel.

Para consolidar el análisis de estabilidad, según lo sugerido por Eberhart y Russell (1966), se aprecia que las variedades Amalia y Vyta lograron rendimientos superiores a la media general, condición deseable en una selección, por lo que responden como las más estables; pero Amalia, con una desviación de la regresión superior a 1, se considera adaptada a ambientes de altas potencialidades. El resto de las variedades poseen un valor B inferior a 1 y sus desviaciones superan la de Vyta, por lo que su predictibilidad es menor (tabla 4).



**Figura 3.** Biplot de las coordenadas del segundo eje de componentes principales (ACPI 2) en función del primer eje de componentes (ACPI 1)

**Tabla 4.** Análisis de los parámetros de estabilidad para el rendimiento

VARIEDADES	RENDIMIENTO (t ha <sup>-1</sup> )	A	B	R <sup>2</sup>	±ES(B)	T	SIG.
Amalia	25,72	-49,43	1,88	0,73	1,91	0,47	N.S.
Mariela	23,51	-16,57	0,71	0,87	0,20	-1,51	N.S.
Mara	23,55	-17,85	0,76	0,89	0,20	-1,26	N.S.
Vytá	24,73	-16,54	0,67	0,95	0,11	-3,20	N.S.
Promedio	24,38						

\*SIG. Significancia

## CONCLUSIONES

La interacción genotipo-ambiente expresó la capacidad que tienen las variedades para adaptarse a un ambiente determinado. Las variedades Amalia y Vytá presentaron los mayores rendimientos (30,26 y 24,84 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente) en todos los ambientes evaluados, condición deseable en una selección.

## BIBLIOGRAFÍA

CASTAÑÓN, G., ZETINA, R., ARANO, R. y RAYGOZA, B. 2000. El AMMI y clúster en la selección de los mejores híbridos experimentales de maíz. *Agronomía mesoamericana*, 11 (1):71-76.

CROSSA, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. *Adv. Agron.*, 44: 55-85.

DELLAMICO, J. 1992. Comportamiento de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ante condiciones de abastecimiento hídrico del suelo. Resumen de tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana.

EBERHART, S. A. and RUSSELL, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6: 34-40.

FRAHM, M., ROSAS, J. C., MAYEK-PEREZ, N., LOPEZ-SALINAS, E., ACOSTA-GALLEGOS, J. A. and KELLY, J. D. 2004. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica*, 136(2):223-232.

- GAUCH, G. H. Jr. 2007. Matmodel version 3.0. Open source software for AMMI and related analysis. Crop and soil Science. Cornell University. Ithaca NY 14853. 67p.
- GAUSSEN, H. et BAGNALOUS, G. 1953. Saison seche et indice xerothermique. Faculté des sciences. Université de Toulouse, Toulouse, Francia.
- HERNÁNDEZ- JIMÉNEZ, A., PÉREZ- JIMÉNEZ, J. M., BOSCH-INFANTE, D. y CASTRO-SPECK, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Ministerio de Educación Superior (MES) e Instituto de Suelos, Ministerio de Agricultura (MINAG). San José de las Lajas, Cuba, 93p. ISBN: 978-959-7023-77-7.
- HORTELANO, R., VILLASEÑOR, H. E., MARTÍNEZ, E., RODRÍGUEZ, M. F., ESPITIA, E. y MARISCAL L. A. 2013. Estabilidad de variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en los Valles Altos de la Mesa Central. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5):713-725.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura). 1990. Instructivo técnico del tomate. Cuba.
- PÉREZ-RUIZ, J., ZAMORA-DÍAZ, M., MEJÍA- CONTRERAS, J., HERNÁNDEZ-LIVERA, A. y SOLANO-HERNÁNDEZ, S. 2016. Estabilidad del rendimiento de grano en cebada maltera en el bajío de México. *Chilean J. Agric. Anim. Sci.*, 31(3):12-19.
- PONVERT-DELISLES, D. R. 2016. Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación. *Cultivos Tropicales*, 37(3): 22-41.
- PORTILLA, A. E. 2013. Comportamiento agronómico y adaptabilidad de 81 genotipos de tomate de árbol *Cyphomandrabetacea* (Cav.) Sendth en la región alto andina de Nariño, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias Palmira. Tesis para obtener el título de Maestría en Ciencias Agrarias, línea de investigación Fomejoramiento, 124p.
- SÁNCHEZ, D. M., BORREGO, F., ZAMORA, V. M., SÁNCHEZ, J. D. y CASTILLO, F. 2015. Estimación de la interacción genotipo-ambiente en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con el modelo AMMI. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6:763-778.
- SOTOLONGO, B. 1978. Estudio comparativo entre el riego por goteo y surcos en el cultivo del tomate en las condiciones de Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas, Sofía, Bulgaria, 185p.
- YAN, W., HUNT, L. A., SHENG, Q. and SZLAVNICS, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega- environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.*, 40 (3): 597-605.

---

Recibido el 25 de junio de 2015 y aceptado el 15 de febrero de 2018